教育部高等职业教育示范专业规划教材
（机械制造及自动化专业）

机械设计基础

主　编　李海萍
副主编　章志芳　姚志平
参　编　罗怀晓　朱风芹　史建华　庄亚红

机械工业出版社

前　言

机械设计基础课程打破了传统的理论力学、材料力学、机械原理和机械零件课程的界限，将工程力学、常用机构和通用机械融合而成的一门应用型的技术科学，是近几年随着高等职业教育发展的需要应运而生的一门技术基础课。机械设计基础课程重在培养学生的认知能力、应用能力及创新能力，具有理论性和实践性很强的特点，是学习专业课程和从事机械类及机类技术工作的必备基础。

本课程的主要任务是：

1. 从高等职业教育培养应用型、技能型人才的总目标出发，遵循“以应用为目的”、“以必需、够用为度”，“以掌握概念、强化应用、培养技能为教学重点”的原则，培养学生建立初步的工程概念，掌握工程力学的基本理论及分析工程问题的基本方法和基本技能，为学习后续课程和解决工程实际问题中的力学问题打好理论基础。

2. 培养学生掌握通用机械零件和机械传动的基本知识、基本理论和基本技能，使学生初步具有分析、设计、运用和维护机械传动装置的能力，具备相应的计算、使用技术资料、计算机辅助设计的能力，为今后解决生产实际问题和学习新的科学技术打下坚实的专业基础。

本课程的主要内容是：

1. 主要介绍在工程实际中的常用机构和机械中的有关力学方面的必要知识，力学模型的概念；对力学模型的受力分析方法；力、力矩、力偶的概念及其基本性质。平面一般力系平衡问题的解法。各种材料应力—应变图的分析，脆性材料和低碳钢、圆轴扭转试验比较。四种基本变形的内力和应力分析、强度计算；减速器轴的弯扭组合变形分析及强度计算。

2. 介绍常用机构及通用零部件的类型及应用。常用机构有连杆机构、凸轮机构、齿轮传动、蜗杆传动、带传动、间歇运动机构及其他常用机构等。这些机构是传动系统和执行系统的基本组成单元，用于实现运动和动力的传递及运动形式的改变。通用零部件主要指用于联接和支承的常用零部件，主要介绍它们的类型、特点、工作原理、工作能力设计、结构设计、组合设计以及标准零部件的选用等。

本课程的学习方法：

1. 在学习本课程时，除使用教材外，还应学会利用其他学习参考教材、电子资料、杂志文献及期刊网等检索工具和实验室设备等，提高学生自主学习的能力和兴趣。

2. 认真阅读学习手册、课程大纲、课程设计指导手册、课程实验指导书等相关辅助资料，掌握相应的知识点，并对应具备的各专项能力有一个清晰的认识，明确学习目的。

3. 勤于观察生活中和工程实际中的各种机械和零件，结合课程内容多思考。重视实验教学环节，积极参加各种综合型、自主设计型、创新设计型实验活动，提高动手能力和综合实验能力，培养创新能力。

本书的教学参考学时数为 120 ~ 140 学时。

参加本书编写的有：李海萍(第 11、13、24 章)，章志芳(第 6、20 章)，姚志平(第 17、21、22、23 章)，罗怀晓(第 1、2、3、8、9 章)，朱风芹(第 10、12、15 章)，史建华(第 14、16、18、19 章)，庄亚红(第 4、5、7 章)。全书由李海萍担任主编，章志芳、姚志平任副主编。

本书中带＊号的章节可作为选修内容，根据学时及要求的不同进行增删。由于编者水平有限，疏漏及不当之处，敬请读者批评指正。

作　者

目　录

前言

第 1 章　静力学基础 …… 1

1.1　力的基本概念及其性质 …… 1
1.2　约束和约束力 …… 5
1.3　物体的受力分析及受力图 …… 8
1.4　思考题与习题 …… 10

第 2 章　平面力系 …… 12

2.1　力在轴上的投影及合力投影定理 … 12
2.2　力矩和力偶 …… 14
2.3　平面一般力系的简化与平衡方程 … 17
2.4　物体系统的平衡 …… 22
2.5　思考题与习题 …… 25

***第 3 章　空间力系** …… 28

3.1　力在空间直角坐标轴上的投影 …… 28
3.2　力对轴的矩 …… 30
3.3　空间力系的平衡方程及其应用 …… 31
3.4　重心及其计算 …… 34
3.5　思考题与习题 …… 36

第 4 章　摩擦 …… 38

4.1　滑动摩擦 …… 38
4.2　摩擦角和自锁 …… 40
*4.3　考虑摩擦时的平衡问题 …… 42
4.4　思考题与习题 …… 44

第 5 章　杆件的内力分析 …… 47

5.1　内力的概念 …… 47
5.2　轴向拉伸或压缩时的内力 …… 48
5.3　杆件剪切变形时的内力 …… 50
5.4　圆轴扭转时的内力 …… 52
5.5　梁弯曲时的内力 …… 53
5.6　思考题与习题 …… 58

第 6 章　应力与变形分析 …… 60

6.1　拉压杆横截面上的应力 …… 60
6.2　轴向拉伸或压缩时的变形及胡克定律 …… 63
6.3　材料在拉伸或压缩时的力学性能 … 64
6.4　轴向拉伸或压缩时的强度计算 …… 69
6.5　应力集中的概念 …… 71
6.6　剪切和挤压时的应力　剪切胡克定律 …… 72
6.7　圆轴扭转时的应力分布规律与强度条件 …… 76
6.8　弯曲时梁横截面上的正应力和强度计算 …… 82
6.9　弯曲变形的概念 …… 87
6.10　提高梁的抗弯强度和刚度的措施 … 88
6.11　思考题与习题 …… 89

第 7 章　组合变形的强度计算 …… 92

7.1　点的应力状态 …… 92
7.2　强度理论 …… 92
7.3　拉伸(压缩)与弯曲的组合变形 …… 94
7.4　扭转与弯曲的组合变形 …… 96
7.5　思考题与习题 …… 98

***第 8 章　压杆稳定** …… 100

8.1　压杆稳定的概念 …… 100
8.2　细长压杆的临界力·欧拉公式 …… 101
8.3　压杆的临界应力 …… 102
8.4　提高压杆稳定性的措施 …… 104
8.5　思考题与习题 …… 105

第 9 章 循环应力 …… 107

9.1 概述 …… 107
9.2 循环应力和持久极限 …… 108
9.3 影响构件疲劳极限的主要因素 …… 110
9.4 提高构件疲劳强度的措施 …… 111
9.5 思考题与习题 …… 112

第 10 章 常用机构概述 …… 114

10.1 概述 …… 114
10.2 运动副及分类 …… 116
10.3 平面机构运动简图 …… 118
10.4 平面机构的自由度 …… 120
10.5 思考题与习题 …… 125

第 11 章 平面连杆机构 …… 127

11.1 概述 …… 127
11.2 平面四杆机构的基本特性 …… 133
*11.3 平面四杆机构的设计 …… 137
11.4 思考题与习题 …… 141

第 12 章 凸轮机构 …… 143

12.1 概述 …… 143
12.2 凸轮机构中从动件常用运动规律 … 145
*12.3 盘形凸轮轮廓曲线的设计 …… 148
12.4 凸轮机构设计中的几个问题 …… 150
12.5 思考题与习题 …… 154

第 13 章 圆柱齿轮机构 …… 155

13.1 概述 …… 155
13.2 渐开线齿廓及其啮合原理 …… 157
13.3 渐开线标准直齿圆柱齿轮的各部分名称、基本参数及尺寸 …… 159
13.4 渐开线齿轮的啮合传动 …… 162
*13.5 渐开线齿轮的轮齿加工 …… 163
*13.6 变位齿轮 …… 167
13.7 平行轴斜齿圆柱齿轮传动 …… 167
13.8 直齿锥齿轮传动 …… 171
13.9 齿轮传动分析 …… 175
13.10 齿轮轮齿受力分析 …… 180
*13.11 齿轮传动强度计算 …… 183
13.12 齿轮结构与齿轮传动润滑 …… 190
13.13 思考题与习题 …… 192

第 14 章 蜗杆传动机构 …… 194

14.1 概述 …… 194
14.2 蜗杆传动机构的基本参数和尺寸计算 …… 196
14.3 蜗杆传动的失效形式和计算准则 … 199
*14.4 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算 …… 202
*14.5 蜗杆传动的设计 …… 205
14.6 思考题与习题 …… 206

第 15 章 轮系 …… 207

15.1 概述 …… 207
15.2 定轴轮系的传动比计算 …… 208
15.3 周转轮系的传动比计算 …… 210
*15.4 混合轮系 …… 211
15.5 轮系的应用 …… 213
*15.6 其他新型轮系简介 …… 215
15.7 思考题与习题 …… 217

第 16 章 带传动 …… 219

16.1 概述 …… 219
16.2 V 带传动的工作情况分析 …… 223
*16.3 V 带传动的设计计算 …… 225
16.4 V 带传动的安装维护和张紧 …… 232
16.5 思考题与习题 …… 234

***第 17 章 链传动** …… 235

17.1 概述 …… 235
17.2 滚子链和链轮 …… 235
17.3 链传动的运动特性 …… 238
17.4 链传动的安装与维护 …… 239
17.5 思考题与习题 …… 241

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第 18 章　其他常用机构 …… 242

18.1　棘轮机构 …… 242
18.2　槽轮机构 …… 246
18.3　凸轮间歇机构 …… 248
18.4　不完全齿轮机构 …… 248
18.5　螺旋传动 …… 249
18.6　思考题与习题 …… 250

第 19 章　联接 …… 251

19.1　联接概述 …… 251
19.2　键联接 …… 252
19.3　螺纹联接 …… 254
19.4　销联接简介 …… 259
19.5　圆柱面过盈联接 …… 259
19.6　思考题与习题 …… 260

第 20 章　轴 …… 261

20.1　概述 …… 261
20.2　轴的结构设计 …… 264
20.3　轴的强度计算 …… 268
*20.4　轴的设计 …… 270
20.5　思考题与习题 …… 273

第 21 章　轴承 …… 275

21.1　概述 …… 275
21.2　非液体摩擦滑动轴承 …… 275
21.3　滚动轴承 …… 280
21.4　滚动轴承工作情况分析及计算 …… 285
21.5　滚动轴承的合理选用 …… 293
21.6　滚动轴承的组合设计 …… 294
21.7　思考题与习题 …… 298

第 22 章　其他常用零部件 …… 299

22.1　联轴器 …… 299
22.2　离合器 …… 304
*22.3　弹簧 …… 307
22.4　思考题与习题 …… 309

***第 23 章　机械的平衡与调整** …… 310

23.1　刚性回转件的静平衡 …… 310
23.2　刚性回转件的动平衡 …… 311
23.3　思考题与习题 …… 314

***第 24 章　机械创新设计简介** …… 315

24.1　概述 …… 315
24.2　设问探求法 …… 315
24.3　缺点列举及改进法 …… 316
24.4　组合法 …… 317

附录　型钢表 …… 320

参考文献 …… 328

第1章　静力学基础

学习目标：正确理解力的概念及静力学基本公理；正确理解常见的约束及约束力的特点；能够正确进行物体的受力分析，并熟练画出研究对象的受力图。

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。物体是指人们在工程及生活实践中所接触到的具体对象的统称，例如，机械的零、部件，建筑中的梁、柱以及各类工具等。

在大多数情况下，物体的变形对研究物体的平衡问题的影响极微，也可忽略不计，因此，近似地认为这些物体在受力状态下是不变形的。这种用假想物体代替真实物体的力学模型称为刚体。静力学是研究刚体在力系作用下的平衡规律，所以又称刚体静力学。

力系是作用在物体上的一组力。对物体作用相同的力系称为等效力系。在不改变力系对物体作用效果的前提下，用一个简单的力系代替复杂的力系，这一过程称为力系的简化。特殊情况下，若一个力与一个力系等效，则称该力为力系的合力，而力系中各力称为合力的分力。

平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线运动的状态。对于一般工程问题，可以把固结在地球上的参考系作为惯性参考系来研究相对于地球的平衡问题。例如，机床的床身、在直线轨道上匀速运动的火车等。使物体保持平衡的力系称为平衡力系，平衡力系所应满足的条件称为力系的平衡条件。

静力学在机械工程中有着广泛的应用，例如在设计平衡的机械零部件时，首先要分析其受力，再应用平衡条件求出未知力，最后研究机械零部件的承载力。因此，静力学是机械工程力学的基础。

在静力学中，主要研究三个问题：

1）力系的简化。

2）力系的等效替换。

3）力系的平衡条件。

1.1　力的基本概念及其性质

1.1.1　力的概念

人们在生产实践中，经过长期的观察和总结，建立了力的概念。力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态或形状发生改变；使物体运动状态的改变是力的外效应，使物体形状发生的改变是力的内效应。静力学主要研究的是力的外效应，而材料力学则主要研究的是力的内效应。

实践证明，力对物体的作用效应取决于三个要素，即力的大小、方向和作用点。这三个要素中，有任何一个要素改变时，力的作用效果就会改变。按照国际单位制规定，力的单位

用牛顿(N)或千牛顿(kN)。

力是具有大小和方向的物理量，它可以按平行四边形法则进行合成或分解，所以力是矢量。如图 1-1 所示，力可以用一具有方向的线段表示。线段的起点或终点表示力的作用点；线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小，通过力的作用点沿力的方向的直线，称为力的作用线；箭头的指向表示力的方向；力的矢量在本书中用黑体字表示，例如 $\boldsymbol{F}$、$\boldsymbol{F}_P$、$\boldsymbol{F}_S$ 等；并以同一非黑体字母 F、F_P、F_S 等代表力的大小；手写时可在普通字母上画一箭头表示矢量。

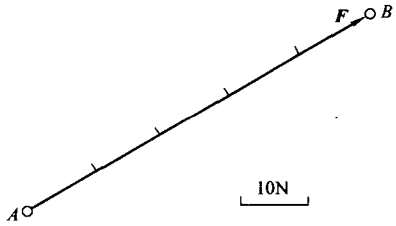

图 1-1 力矢量

1.1.2 静力学公理

静力学公理是人们经过长期的观察和实验，根据大量的事实，概括和总结得到的客观规律，它的正确性已被人们所公认。静力学的全部理论就是在下述四个公理的基础上建立起来的。

公理一 力的平行四边形法则

作用在物体上某一点的两个力，可以合成为一个合力。合力作用在该点，其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

如图 1-2 所示，根据这个公理作出的平行四边形，称为力的平行四边形。这个求合力的方法称为矢量加法，合力矢等于原来两力的矢量和(几何和)，即

$$\boldsymbol{F}_R = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$$

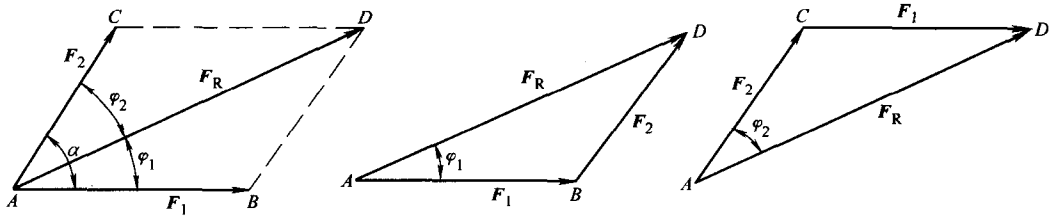

图 1-2 力的平行四边形

用平行四边形法则求合力时，可以不画出整个力的平行四边形，而只要以力矢 $\boldsymbol{F}_1$ 的终点作为力矢 $\boldsymbol{F}_2$ 的起点画出力矢 $\boldsymbol{F}_2$(即分力首尾相接)，则 AD 矢量就是合力 $\boldsymbol{F}_R$。这个三角形就称为力三角形，这种求合力的方法称为力三角形法。如果先画 $\boldsymbol{F}_2$，后画 $\boldsymbol{F}_1$，也能得到相同的合力 $\boldsymbol{F}_R$。可见画分力的先后次序不同，并不影响合力 $\boldsymbol{F}_R$ 的大小和方向。

力的平行四边形法则是研究力系简化问题的重要依据。

公理二 作用与反作用公理

两物体间相互作用的力，总是同时存在，这两个力大小相等、方向相反、沿同一直线、分别作用在两个物体上。

以一对相互啮合的直齿圆柱齿轮为例，如图 1-3 所示，主动轮 1 给从动轮 2 一个作用力 $\boldsymbol{F}_n$，推动齿轮 2 绕轴 O_2 转动，同时从动轮 2 也会给主动轮 1 一个反作用力 $\boldsymbol{F}'_n$，这两个力是

等值、反向、共线，但分别作用在两个齿轮上。

这个公理就是牛顿第三定律，它说明力永远是成对出现的，物体间的作用总是相互的，有作用力就有反作用力，两者总是同时存在，又同时消失。

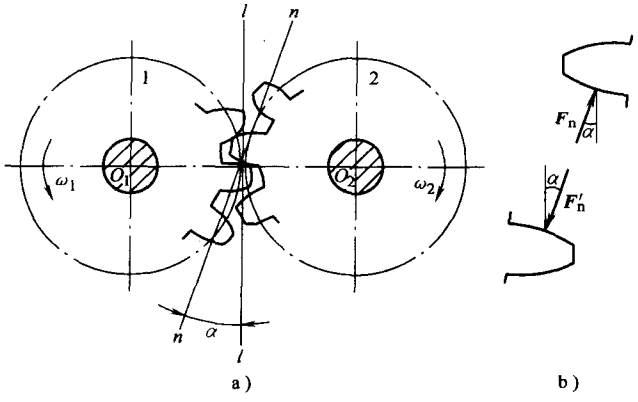

图 1-3　直齿圆柱齿轮啮合过程受力

公理三　二力平衡公理(二力平衡条件)

作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡的必要和充分条件是这两个力大小相等、方向相反且作用在同一直线上。

对于变形体来说，二力平衡公理只是必要条件，但不是充分条件。例如，绳索的两端受到等值、反向、共线的两个拉力时可以平衡，但受到等值、反向、共线的两个压力作用就不一定能平衡。

在两个力作用下并处于平衡的物体称为二力体，工程上有些构件可以不计自重，通常将受两个力作用而处于平衡的构件称为二力构件，如果是直杆，则称为二力杆件(简称二力杆)。

如图 1-4 所示的结构中，*CD* 杆是二力杆，欲判断杆件受拉还是受压，可假想将杆件切断(或抽掉)，如两点靠拢，则杆件受压；若两点相离，则杆件受拉。

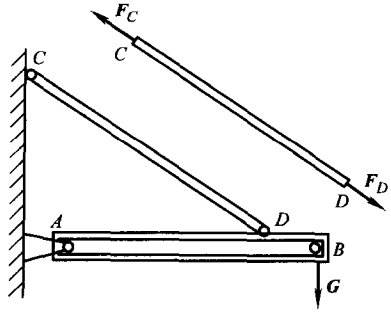

图 1-4　二力杆

公理四　加减平衡力系公理

在作用着已知力系的刚体上，加上或减去任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

公理四对研究力系的简化问题很重要，在推导很多定律时经常会用到。

公理四只适用于刚体，因为平衡力系对刚体的运动状态改变没有影响。如果考虑到物体的变形，则加上或减去一个平衡力系，将使物体的变形情况发生改变。

1.1.3　力的性质的重要推论

推论 1　力的可传性

由于力对于刚体只有运动效应，因此作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任意一点而不改变原力对刚体的作用效应。这种作用于刚体上的力可以沿其作用线移动的性质称为力的可传性。

如图 1-5 所示，以等量的力 $\boldsymbol{F}$ 在车后 A 点推和车前 B 点拉效果是一样的。由力的可传性可以看出，对刚体而言，力的三要素中力的作用点可由力的作用线代替。因此，作用于刚体上的力的三要素为：力的大小、方向和作用线的位置。

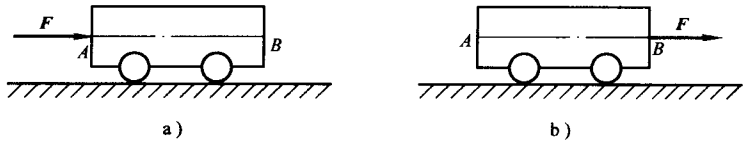

图 1-5 力的可传性

应当指出，在研究力对物体的变形效应时，力是不能沿其作用线移动的。如图 1-6 所示的可变形直杆，沿杆的轴线在两端施加大小相等、方向相反的一对力 F_1 和 F_2 时，杆将产生拉伸变形。如果将力 F_1 沿其作用线移至 B 点，将力 F_2 沿其作用线移至 A 点，杆将产生压缩变形。因此，力的可传性对变形体是不成立的。

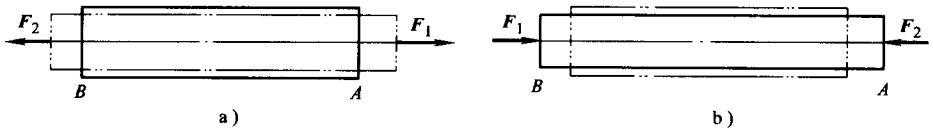

图 1-6 可变形直杆

推论 2 三力平衡汇交定理

如图 1-7 所示，设在同一平面内有三个互不平行的力 F_1、F_2和 F_3 分别作用于刚体上 A、B、C 三点并保持平衡。根据力的可传性，可将力 F_1 和 F_2 沿其作用线移动到它们的交点 O，根据公理一，此二力可合成为一合力 F_R，$F_R = F_1 + F_2$，再根据二力平衡公理，可知 F_R 和 F_3 必共线、等值、反向。所以，力 F_3 的作用线也必通过 F_1 和 F_2 的交点 O，即此三个力的作用线汇交于一点。

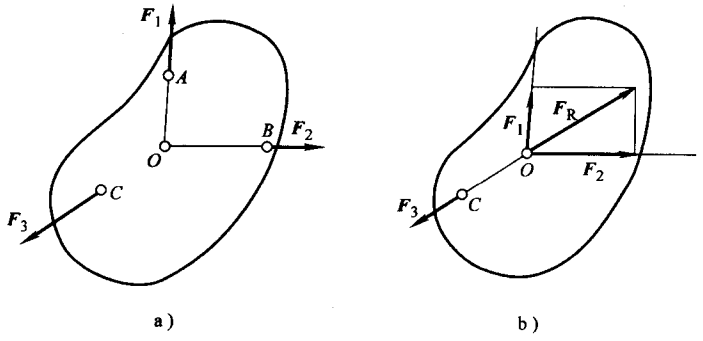

图 1-7 三力平衡汇交

所以，刚体受同一平面且互不平行的三个力作用而平衡时，这三个力的作用线必汇交于一点。

1.1.4 集中力和分布力

力总是作用在一定的面积或体积内的，称为分布力(又称分布载荷)。当力的作用范围与体积相比很小时，可以近似地看作一个点，该点为力的作用点，作用于一点的力称为集中力。当力均匀地分布在某一线段上时，称为线均布载荷；当力均匀地分布在某一面上时，称为面均布

载荷；当力均匀地分布在某一体积上时，称为体均布载荷。对均布载荷的强弱程度，通常用 q 来表示，称为载荷集度，单位为 N/m（或 N/m^2、N/m^3）或 kN/m（或 kN/m^2、kN/m^3）。载荷集度为 q 的均布载荷，可以证明其合力的大小等于载荷集度与其分布区域的乘积，即 $F_q = ql$（或 $F_q = qA$、$F_q = qV$），合力的作用线过分布区域的几何中心，方向与均布载荷相同。

1.1.5　力系的分类

通常根据力系中各力作用线的分布情况来分类。各力的作用线都在同一平面内的力系称为平面力系；各力的作用线不在同一平面内的力系称为空间力系。在这两类力系中，各力的作用线相交于一点的力系称为汇交力系；各力的作用线互相平行的力系称为平行力系；各力的作用线不全交于一点的力系称为任意力系。

1.2　约束和约束力

工程上所遇到的物体通常分为两种，如果物体在空间沿任何方向的运动都不受限制，这种物体称为自由体，如飞行的飞机、炮弹等。如果物体的运动受到其他物体的限制，则这种物体称为非自由体，如火车、轴等。限制非自由体运动的物体称为非自由体的约束，如铁轨是火车的约束、轴承是轴的约束等。

一般，将物体所受的力分为两类：一类是使物体产生运动或运动趋势的力，称为主动力，如重力、切削力、电磁力等。另一类则是约束限制物体某种可能运动的力，又因它是由主动力引起的反作用力，故全称应是约束作用力，简称约束力。

约束力总是作用在被约束物体与约束物体的接触处，其方向总是与该约束所限制的运动或运动趋势方向相反，据此即可确定约束力的位置及方向。下面介绍几种常见的约束。

1. 柔性约束

柔软且不可伸长的绳子、带、链等柔索类约束，称为柔性约束。由于柔性约束对物体的约束力只可能是拉力，其作用点必在约束与被约束物体相互接触处，方向沿约束的中心线且背离被约束的物体。这类约束的约束力常用 F_T 来表示。

如图 1-8 所示，在吊运中的钢梁，无论绳索捆绑在钢梁底部何处，作用在钢梁和吊钩上

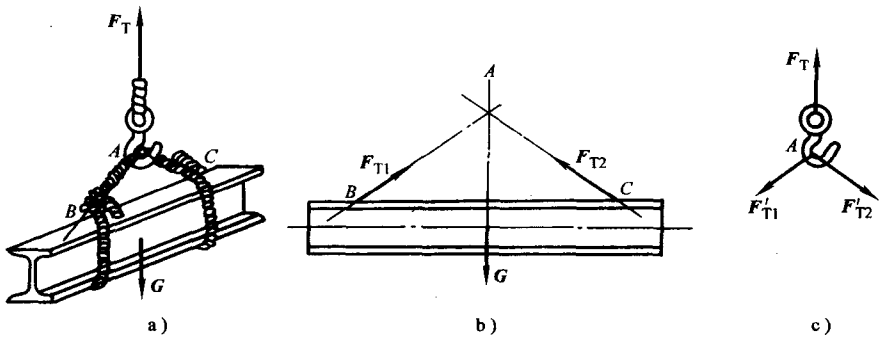

图 1-8　吊运中的钢梁

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

的柔性约束力，总是沿着绳索中心线的拉力。

如图 1-9 所示的带传动，无论轮子的转向如何，每个带轮两边总是受到带的拉力，其作用点在带与轮缘的相切点。

2. 光滑面约束

当物体与约束的接触面之间摩擦很小，甚至可以忽略不计时，则认为接触面是光滑的，这种光滑的平面或曲面对物体的约束，称为光滑面约束。光滑面约束只能限制物体沿接触点公法线且指向约束物体的运动，对于物体沿接触面切线方向的运动却不能限制，故约束力必过接触点沿接触面法向并指向被约束物体。这类约束的约束力常用 F_N 来表示，如图 1-10 所示。

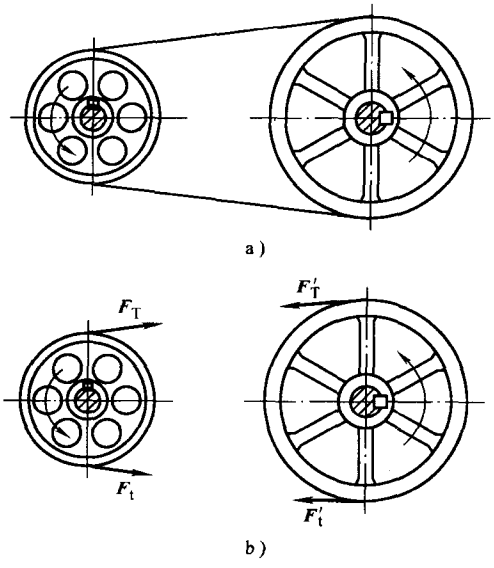

图 1-9 带传动

3. 铰链约束

如图 1-11、图 1-12 所示，工程上常用的圆

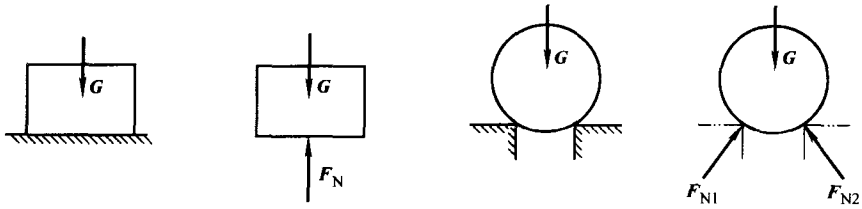

图 1-10 光滑面约束

柱形铰链约束，它是用一个圆柱销 3 将构件 1、2 联接在一起构成圆柱铰链，简称铰链。物体受铰链约束时，彼此间只能绕圆柱销的轴线相对转动，不能发生任何方向的移动。因此，约束力一定沿接触点处的公法线方向，其作用线必通过圆孔中心。一般情况下，由于接触点的位置与构件所受的载荷有关，所以约束力的方向是未知的。为计算方便，通常用经过圆孔中心的两个正交分力来 F_x、F_y 表示。

若铰链的两个构件中有一个固定，称为固定铰链；若均未固定，则称为中间铰链。固定铰链及中间铰链的约束力方向，如属于下列情况，约束力的方向是可以确定的：

1）铰链所联接的构件中，有一个是二力构件。

2）铰链所联接的构件中，受有一组平行力系作用，则铰链的约束力必与该力系平行。

如图 1-12 所示，如果在铰链支座与支承面之间安装有辊轴 4，这种约束称为活动铰链支座，则活动铰链支座只能限制构件沿支承面法线方向的运动。故活动铰链约束力的方向应垂直于支承面，且作用线通过铰链中心。

4. 固定端约束

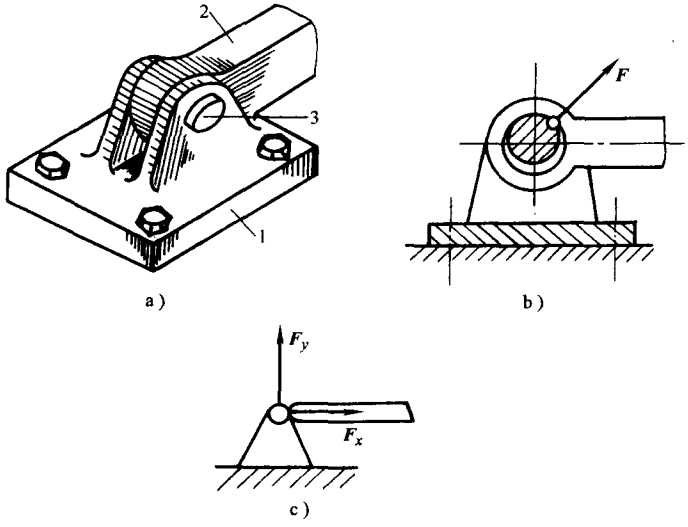

图 1-11　圆柱形铰链约束

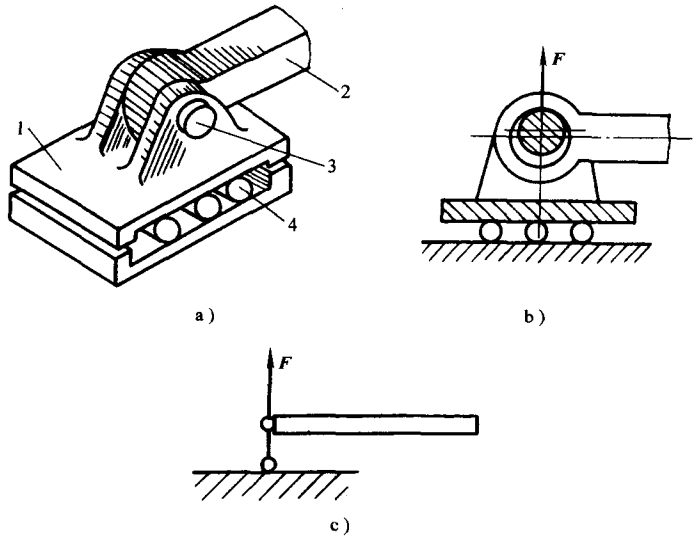

图 1-12　活动铰链约束

如图 1-13 所示，构件焊接或铆接在固定的机架上或基础上，构件的固定端既不能移动，也不能转动。因此，它的约束力可用两个互相垂直的分力 $\boldsymbol{F}_x$ 和 $\boldsymbol{F}_y$ 和一个阻止转动的力矩 M 来表示。

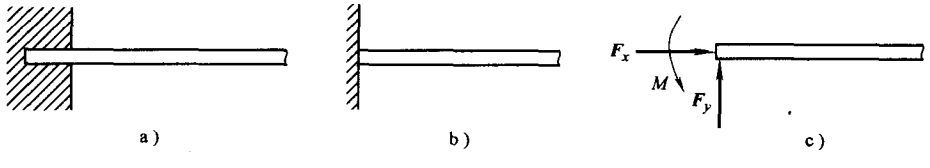

图 1-13　固定端约束

1.3 物体的受力分析及受力图

求解静力学问题时，首先需要分析物体受到哪些力的作用，分析每个力作用线的位置和方向，这一过程称为物体的受力分析。

进行受力分析时，根据求解问题的需要，需选定某一个或几个物体作为研究对象，并首先将这些研究对象从与周围联系的物体(约束)中分离出来，单独画出其简图，这一过程称为取分离体。在分离体上画出作用在其上的全部主动力和约束力，从而形象地表达出研究对象受力情况的全貌，这种图形称为受力图。

对物体进行受力分析，画受力图的步骤和要点为：

1）根据题意，确定研究对象。

2）画研究对象的分离体。分离体的形状和方位应和原来的物体一致。

3）在研究对象分离体的相应位置逐一画出全部主动力。

4）在研究对象分离体解除约束的地方，逐一画出约束力。约束力的方向或分量，必须根据约束的类型及性质来画，而不能凭主观想象多画或漏画。

5）画整个物体系统的受力图时，物体系统内部的相互作用力(或内力)不必画出。

6）画物体系统中某个物体的受力图时，应注意作用力和反作用力的关系。

7）同一约束力，在整体或部分受力图中指向必须一致。

8）要正确判断二力构件，二力构件的受力必在两力作用点的连线上。

下面举例说明物体受力分析的过程和受力图的画法。

例 1-1 如图 1-14 所示，用一根绳子将一重为 G 的圆球拴住，并放置在光滑斜面上，试画出圆球的受力图。

解 (1) 根据题意，研究对象为圆球，除去约束单独画出其分离体。

(2) 画主动力，即圆球的重力 G。

(3) 画约束力。绳子的柔性约束力 F_B，其沿绳子的中心线并背离圆球；在 A 点的光滑面约束力 F_{NA}，其垂直于斜面并指向圆球。

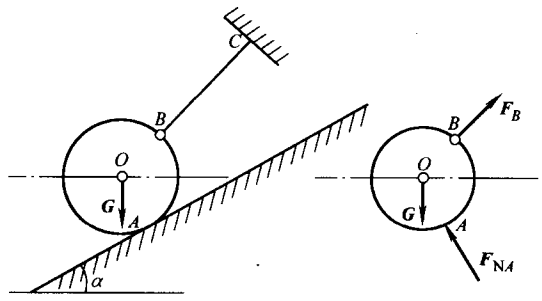

图 1-14 例 1-1 图

例 1-2 如图 1-15 所示，简支梁 AB 的 A 端为固定铰链支座，B 端为活动铰链支座，在梁的中点受到主动力 F 的作用，试画出梁 AB 的受力图。

解 (1) 根据题意，研究对象为梁 AB，除去约束，单独画出其分离体。

(2) 画主动力，即外力 F。

(3) 画约束力。活动铰链 B 对梁的约束力 F_B，其通过铰链 B 的中心，铅垂向上；固定铰链 A 的约束力用两个分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示。

因为梁 AB 在受到固定铰链 A 和活动铰链 B 处的两个约束力及一个主动力 F 的作用下而

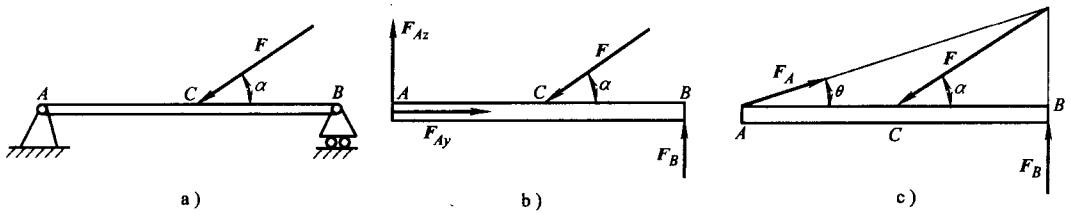

图 1-15　例 1-2 图

处于平衡状态，其中力 $\boldsymbol{F}_B$ 和 $\boldsymbol{F}$ 方向已知，由三力平衡汇交定理可知，固定铰链 A 处对梁 AB 的约束力 $\boldsymbol{F}_A$ 的作用线必通过力 $\boldsymbol{F}_B$ 和 $\boldsymbol{F}$ 的交点 D，故力 $\boldsymbol{F}_A$ 的方向是可以确定的。

例 1-3　如图 1-16 所示，三铰拱桥由左右两拱铰接而成。设各拱自重不计，在 AC 拱上作用有载荷 $\boldsymbol{F}$，试画出拱 AC、BC 的受力图。

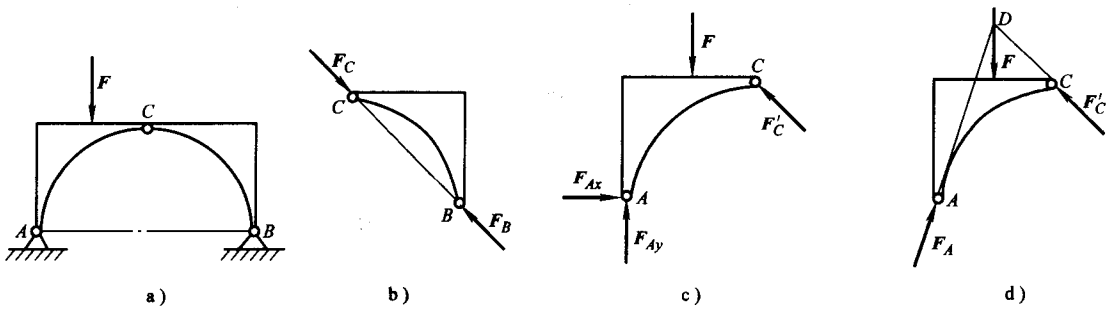

图 1-16　例 1-3 图

解　(1) 先分析拱 BC 的受力。由于拱 BC 自重不计，且只在 B、C 两处受到铰链约束，因此拱 BC 为二力构件。在铰链中心 B、C 处分别受 $\boldsymbol{F}_B$、$\boldsymbol{F}_C$ 两力的作用，且 $\boldsymbol{F}_B = -\boldsymbol{F}_C$(见图 1-16b)。

(2) 取拱 AC 为研究对象。由于自重不计，因此主动力只有载荷 $\boldsymbol{F}$。拱在铰链 C 处受到拱 BC 给它的约束力 $\boldsymbol{F}'_C$ 的作用，根据作用和反作用定理，$\boldsymbol{F}'_C = -\boldsymbol{F}_C$。拱在 A 处受到固定铰链给它的约束力 $\boldsymbol{F}_A$ 的作用，由于方向未知，可用两个大小未知的正交分力 $\boldsymbol{F}_{Ax}$ 和 $\boldsymbol{F}_{Ay}$ 代替。(见图 1-16c)。

(3) 再进一步分析可知，由于拱 AC 在 $\boldsymbol{F}$、$\boldsymbol{F}'_C$ 和 $\boldsymbol{F}_A$ 三个力作用下平衡，故可据三力平衡汇交定理，确定铰链 A 处约束力 $\boldsymbol{F}_A$ 的方向。点 D 为力 $\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}'_C$ 作用线的交点，当拱 AC 平衡时，约束力 $\boldsymbol{F}_A$ 的作用线必通过点 D (见图 1-16d)，至于 $\boldsymbol{F}_A$ 的指向在以后可由平衡条件来进行确定。

例 1-4　如图 1-17 所示，梯子的两部分 AB 和 AC 在点 A 铰接，由在 D、E 两点用水平绳连接。梯子放在光滑水平面上，若其自重不计，但在 AB 的中点 H 处作用一铅直载荷 $\boldsymbol{F}$。试分别画出绳子 DE 和梯子的 AB、AC 部分以及整个系统的受力图。

解　(1) 绳子 DE 的受力分析。绳子两端 D、E 分别受到梯子对它的拉力 $\boldsymbol{F}_{TD}$、$\boldsymbol{F}_{TE}$ 的作用(见图 1-17b)。

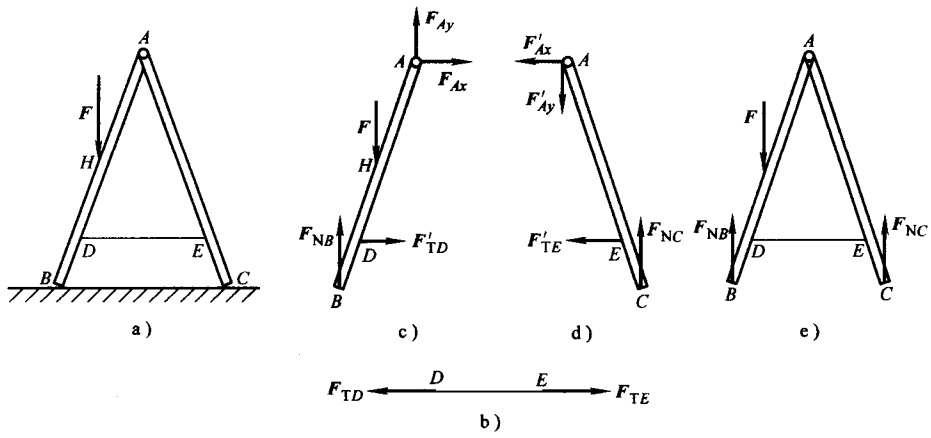

图 1-17 例 1-4 图

(2) 梯子 AB 部分的受力分析。它在 H 处受到载荷 F 的作用，在铰链 A 处受到 AC 部分给它的约束力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 的作用。在点 D 受到绳子对它的拉力 F'_{TD} 的作用。在点 B 受到光滑地面对它的法向约束力 F_{NB} 的作用(见图 1-17c)。

(3) 梯子 AC 部分的受力分析。在铰链 A 处受到 AB 部分对它的作用力 F'_{Ax} 和 F'_{Ay} 的作用。在点 E 受到绳子对它的拉力 F'_{TE} 的作用。在 C 处受到光滑地面对它的法向约束力 F_{NC} 的作用(见图 1-17d)。

(4) 整个系统的受力分析(图 1-17e)。当选整个系统为研究对象时，由于铰链 A 处所受的力互为作用力和反作用力的关系，即 $F_{Ax} = -F'_{Ax}$、$F_{Ay} = -F'_{Ay}$；绳子与梯子的连接点 D 和 E 所受的力也分别互为作用力和反作用力的关系，即 $F_{TD} = -F'_{TD}$，$F_{TE} = -F'_{TE}$，这些力都成对地作用在整个系统内，故为内力。内力对系统的作用效果互相抵消，因此可以除去，并不影响整个系统的平衡，故在受力图上只需画出系统以外的物体给系统的作用力，这种力称为外力。这里，载荷 F 和约束力 F_{NB}、F_{NC} 都是作用于整个系统的外力。

1.4 思考题与习题

1-1 力的三要素是什么？两个力相等的条件是什么？如图 1-18 所示的两个力矢量 F_1 和 F_2 是否相等？这两个力对物体的作用是否相等？

1-2 说明下列式子的意义和区别：

(1) $F_1 = F_2$，(2) $F_1 = F_2$，(3)力 F_1 等于力 F_2。

1-3 二力平衡条件与作用和反作用定律都是说二力等值、反向、共线，问二者有什么区别？

1-4 为什么说二力平衡条件、加减平衡力系原理和力的可传性等都只能使用于刚体？

1-5 试区别 $F_R = F_1 + F_2$ 和 $F_R = F_1 + F_2$ 两个等式代表的意义。

1-6 什么叫二力构件？分析二力构件受力时与构件的形状有无关系？

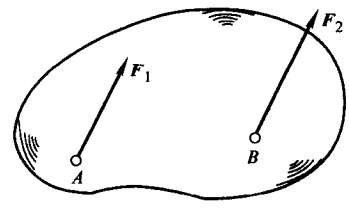

图 1-18 题 1-1 图

1-7　画出图 1-19 中各物体的受力图，各接触面均为光滑面。

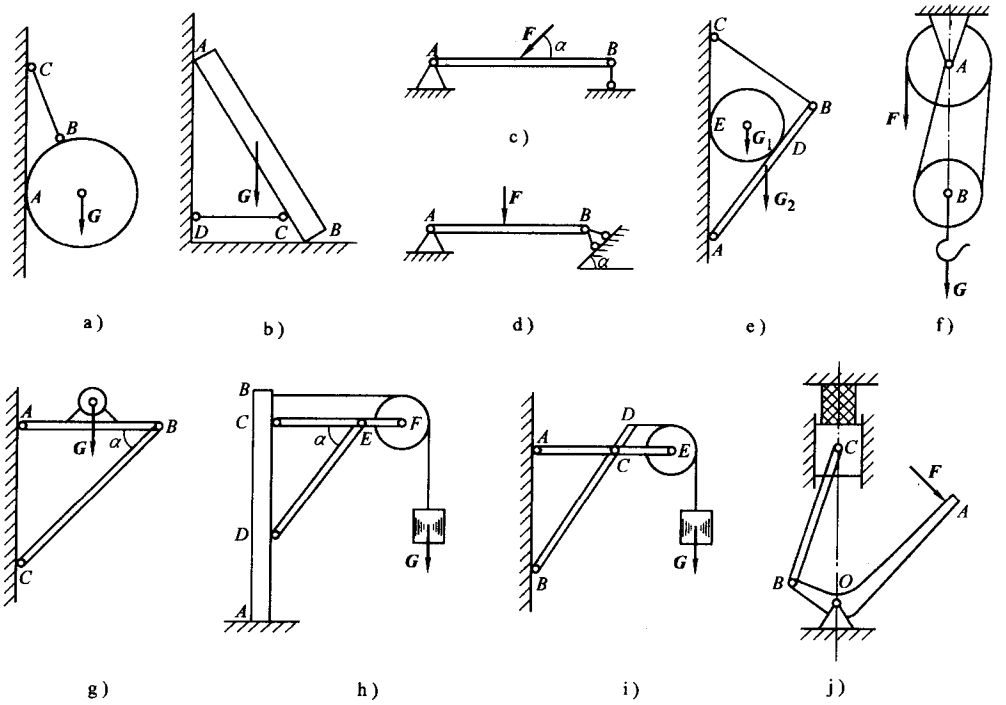

图 1-19　题 1-7 图

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com